

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：32661

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K03704

研究課題名（和文）多波長データに基づく銀河団ダイナミクスの解明

研究課題名（英文）Revealing the dynamics of galaxy clusters with multi-wavelength astrophysical data

研究代表者

北山 哲（Kitayama, Tetsu）

東邦大学・理学部・教授

研究者番号：00339201

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,600,000円

研究成果の概要（和文）：宇宙最大の天体である銀河団に付随する電離ガスの運動学的・熱力学的性質および暗黒物質や星・活動銀河核との関係性を明らかにするため、ミリ波サブミリ波、X線、可視光といった多波長における高性能観測機器および宇宙論的大規模数値シミュレーションを用いた研究を行った。主な成果として、5秒角の空間分解能でのスニヤエフ ゼルドビッチ効果測定を複数の天体に対して成功させたこと、電離ガスが過冷却を起こしている稀有な銀河団の存在を明らかにしたこと、大多数の銀河団においてガス密度・温度の双極的な揺動が生じていることを突きとめたこと、などが挙げられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、従来困難視されていたスニヤエフ ゼルドビッチ効果の高解像度測定が、多数の天体に対して一般的に実現可能であり、特に遠方宇宙における階層構造の進化を解明するための強力な手段となることが立証されたと言える。

研究成果の概要（英文）：To clarify the links among the properties of ionized gas, dark matter, stars and AGNs in galaxy clusters, we have utilized multi-wavelength astrophysical data and state-of-the-art cosmological numerical simulations. Our main achievements are that we have successfully measured the Sunyaev-Zel'dovich effect from three galaxy clusters at 5 arcsec resolution, verified the presence of a galaxy cluster that hosts a radiative cooling flow, and shown that dipolar perturbations of gas density and temperature are present ubiquitously even in apparently relaxed galaxy clusters.

研究分野：宇宙物理学

キーワード：銀河団 ミリ波サブミリ波 X線 可視光

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

本研究を開始した2018年頃は、プランク衛星による宇宙マイクロ波背景放射の観測などによって宇宙全体の時間発展は高精度で明らかになってきたが、同時に近傍宇宙における天文学的データとの矛盾も複数指摘されていた。これらの矛盾は現在もなお解決されていないが、星や銀河、銀河団といった階層構造の物理的性質に関する我々の理解不足に起因する可能性は高い。一方で、電波領域ではアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA)、可視光・赤外線ではすばる望遠鏡搭載超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam、X線領域ではひとみ衛星といった高性能観測機器が稼働したことに伴い、それらの能力を最大限引き出したり、さらに次世代の観測計画にフィードバックを与えたりする研究の進展が期待されていた。

### 2. 研究の目的

宇宙の階層構造の成り立ちを明らかにするためには、宇宙の物質の大半を占める未知の暗黒物質、残りのバリオン成分の大半を占める電離ガス、ガスの冷却生成物であると同時にエネルギー供給源にもなり得る星・活動銀河核、の三者間の相互作用を理解することが鍵となる。本研究では、宇宙全体の進化と特に関わりの深い天体である銀河団を主要対象とし、電離ガスの運動学的・熱力学的性質および暗黒物質や星・活動銀河核との関係性を明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

上記目的の達成のため、電波領域のALMA、X線領域のチャンドラ・XMM-Newton・ひとみ、可視光・赤外線領域のすばる望遠鏡といった多波長における観測装置の連携を推進し、波長帯の枠、および理論と観測の枠を超えた研究を実施した。

特に、銀河団プラズマが宇宙マイクロ波背景放射光子を逆コンプトン散乱することにより生じるスニヤエフ・ゼルドビッチ効果 (以下、SZ効果と略す) の高解像度観測に主眼を置いた。従来、SZ効果測定の間解能を10秒角よりも向上させることは困難視されていたが、研究代表者は2016年に世界で初めて5秒角の間解能での観測を(1天体に対して)成功させていたので、本研究ではさらに複数の天体に対して同様の高解像度観測を実現し、この手法の確立および一般化を行った。

また、宇宙の構造形成理論を観測データと結びつけるため、宇宙論的大規模数値シミュレーションも利用した。

### 4. 研究成果

- (1) ALMAを用いて、計3つの銀河団に対して、SZ効果を5秒角の間解能で測定することに成功した。また、天文衛星チャンドラによって取得されたX線データとALMAによるSZ効果データを組み合わせると、従来困難であった遠方銀河団の温度分布が精度よく測定できることを立証し、銀河団の熱力学的性質を探るための新しい手段を確立した。

この結果、赤方偏移0.6に位置するフェニックス銀河団(SPT-CLJ2344-4243)に対しては、同銀河団中の電離ガスの圧力分布が他の遠方銀河団よりも有意に中心集中していること、中心付近でのガス温度は外層部の5分の1程度にまで急峻に冷却していること、測定誤差の範囲内では有意な圧力ゆらぎや非対称性は見られないことなどが明らかになった。これらは、フェニックス銀河団中の電離ガスが効率的かつほぼ等圧的に冷却しつつあり、他の銀河団では見られないようなガスの過冷却(いわゆるクーリングフロー)が起きていることを示唆している。

また、赤方偏移1付近に位置する二つの遠方銀河団RCS J2319+0038およびHSC J0947-0119に対しては、いずれも中心部における圧力分布が、近傍宇宙で冷却コアをもつ銀河団の平均に比べて、はるかに緩やかであることが明らかになった。RCS J2319+0038中心部では、電離ガスが熱エネルギーを失って冷却されたコアを形成しつつあるが、その度合いは近傍宇宙におけるよりもはるかに弱いことがわかった。一方で、HSC J0947-0119に関しては、冷却されたコアの兆候は得られず、銀河団衝突の強い影響を受けていることが示唆された。以上は、個別銀河団における熱力学的量の空間分布としては最遠方の宇宙における結果の一つであり、これらの銀河団が近傍宇宙とは大きく異なる性質をもつことを示している。

- (2) オーストラリアコンパクト電波干渉計(ATCA)を用いて、上記のフェニックス銀河団の中心銀河内の巨大ブラックホールから噴出するジェットを発見することに成功し

た。巨大ブラックホールによるジェットは、銀河団におけるガスの冷却や星形成を普遍的に阻害するのではないかと従来考えられてきたが、今回の結果はそのような描像に対する興味深い反例を提供しており、電離ガスが過冷却を起こしていることと整合することが明らかになった。この成果に関しては、2020年8月31日に国立天文台などによるプレスリリースが行われた。

- (3) すばる望遠鏡に搭載された Hyper Suprime-Cam による広視野サーベイで同定された銀河団のフォローアップ観測も進めた。計3つの銀河団に対して Green Bank Telescope による SZ 効果と XMM-Newton 衛星による X 線のデータを用いた解析を行った結果、2 億度を超える非常に高温なガスの存在が明らかになった。
- (4) X 線天文衛星チャンドラによる高空間分解能データを用いて、銀河団中におけるガスの揺動運動に対する系統的な調査を行った。まず、銀河団 Abell 907 に対して、中心部における高温プラズマが我々からの視線方向にそって揺動運動している兆候をとらえることに初めて成功した。また、この揺動運動の速さは、高温プラズマの音速よりは有意に小さいため、圧力平衡がほぼ保たれている可能性が高いことも明らかにした。

次に、チャンドラ衛星による X 線データおよびハッブル宇宙望遠鏡による重力レンズ効果データが揃っている計 12 個の近傍銀河団の内部構造を調べた結果、見かけ上安定した形状をもつ銀河団の約 8 割以上においてガスが揺動している兆候が普遍的に認められること、揺動するガスはほぼ圧力平衡状態にあること、揺動するガスはもともと付随していたダークマター塊から既にはぎとられている可能性が高いことなどを明らかにした。

さらに、力学的に安定した状態に達していると従来考えられてきた計 28 個の銀河団に調査対象を拡張したところ、その全てに顕著な擾乱が存在することが明らかになった。擾乱の度合は、温度差にして 20% 程度、エントロピー差にして 40% 程度である一方で、ほぼ等圧（圧力差はゼロと整合）が保たれていることがわかった。また、このような擾乱は、銀河団のつくる重力場に引き寄せられて周囲から降着してきた物質が、銀河団内部を行き来することに伴って生成され得ることを、大規模数値シミュレーションの結果との比較によって示した。一連の成果は、宇宙の大規模構造形成に伴い、銀河団中の擾乱が普遍的に生じる可能性を強く示唆している。

- (5) X 線天文衛星ひとみが取得した高エネルギー分解能データを詳細に解析し、2 - 12 keV のエネルギー帯域全体において、現状のプラズマモデルで説明できない未同定輝線は認められないことを明らかにした。この結果は、他の衛星データをもとに従来示唆されていた暗黒物質起源の新輝線の存在に対する強い反証となった。
- (6) X 線天文衛星 XMM-Newton による近傍銀河団 CIZA J1358.9-4750 の観測データを調査した結果、この銀河団中に従来知られていなかった衝撃波面の存在を明らかにすることに成功した。
- (7) 銀河団の中心銀河とダークマターハローの空間分布の時間進化を、宇宙論的大規模流体シミュレーションを用いて調べた結果、中心銀河およびダークマターハローの主軸方向は、時間とともに相互相関が強くなり、現在の宇宙では約 30 度以内に揃うことがわかった。ダークマターハローの主軸方向は、銀河団を取り巻く大規模構造に強く影響を受けることから、現在観測される中心銀河の主軸の向きにも、宇宙初期の密度ゆらぎの分布が反映されていることが示唆される。

また、強い重力レンズ効果を用いて測定されたダークマターハローの形状と、ハッブル宇宙望遠鏡により観測された中心銀河の形状の間の比較を、計 45 個の銀河団に対して行った結果、ダークマターハローの主軸の向きと、中心銀河の主軸の向きが、20 程度程度の範囲内でほぼ揃っていることなどが明らかになった。

- (8) 次世代電波分光器 DESHIMA2.0 を用いた銀河団観測の可能性についても定量的な評価を行い、今後の観測計画の立案に貢献した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 13件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kitayama, Tetsu; Ueda, Shutaro; Okabe, Nobuhiro; Akahori, Takuya; Hilton, Matt; Hughes, John P.; Ichinohe, Yuto; Kohno, Kotaro; Komatsu, Eiichiro; Lin, Yen-Ting; Miyatake, Hironao; Oguri, Masamune; Sifon, Cristobal; Takakuwa, Shigehisa; Takizawa, Motokazu; Tsutsumi, Takahiro; van Marrewijk, Joshiwa; Wollack, Edward J.	4. 巻 75
2. 論文標題 Galaxy clusters at z~1 imaged by ALMA with the Sunyaev-Zel'dovich effect	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 311-337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac110	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Omiya, Yuki; Nakazawa, Kazuhiro; Matsushita, Kyoko; Kobayashi, Shogo B.; Okabe, Nobuhiro; Sato, Kosuke; Tamura, Takayuki; Fujita, Yutaka; Gu, Liyi; Kitayama, Tetsu; Akahori, Takuya; Kurahara, Kohei; Yamaguchi, Tomohiro	4. 巻 75
2. 論文標題 XMM-Newton view of the shock heating in an early merging cluster, CIZA J1358.9-4750	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 37-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psac087	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Taniguchi, Akio; Bakx, Tom J. L. C.; Kitayama, Tetsu (23番目); 他	4. 巻 209
2. 論文標題 DESHIMA 2.0: Development of an Integrated Superconducting Spectrometer for Science-Grade Astronomical Observations	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 278-286
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-022-02888-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Mori, Koji; Tsuru, Takeshi G.; Kitayama, Tetsu (31番目); 他	4. 巻 12181
2. 論文標題 A broadband x-ray imaging spectroscopy in the 2030s: the FORCE mission	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE Astronomical Telescopes and Instrumentation	6. 最初と最後の頁 1218122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2628772	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ueda, Shutaro; Umetsu, Keiichi; Ng, FanLam; Ichinohe, Yuto; Kitayama, Tetsu; Molnar, Sandor M.	4. 巻 922
2. 論文標題 Systematic Perturbations of the Thermodynamic Properties in Cool Cores of HIFLUGCS Galaxy Clusters	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id. 81
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac1f16	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Okabe, Taizo; Oguri, Masamune; Peirani, Sebastien; Suto, Yasushi; Dubois, Yohan; Pichon, Christophe; Kitayama, Tetsu; Sasaki, Shin; Nishimichi, Takahiro	4. 巻 496
2. 論文標題 Shapes and alignments of dark matter haloes and their brightest cluster galaxies in 39 strong lensing clusters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2591-2604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa1479	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Akahori, Takuya; Kitayama, Tetsu; Ueda, Shutaro; Izumi, Takuma; Lee, Kianhong; Kawabe, Ryohei; Kohno, Kotaro; Oguri, Masamune; Takizawa, Motokazu	4. 巻 72
2. 論文標題 Discovery of radio jets in the Phoenix galaxy cluster center	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 id. 62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa039	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okabe, Nobuhiro; Dicker, Simon; Eckert, Dominique; Mroczkowski, Tony; Gastaldello, Fabio; Lin, Yen-Ting; Devlin, Mark; Romero, Charles E.; Birkinshaw, Mark; Sarazin, Craig; Horellou, Cathy; Kitayama, Tetsu; Umetsu, Keiichi; Sereno, Mauro; 他	4. 巻 501
2. 論文標題 Active gas features in three HSC-SSP CAMIRA clusters revealed by high angular resolution analysis of MUSTANG-2 SZE and XXL X-ray observations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1701-1732
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa2330	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Okabe, Taizo; Nishimichi, Takahiro; Oguri, Masamune; Peirani, Sebastien; Kitayama, Tetsu; Sasaki, Shin; Suto, Yasushi; Pichon, Christophe; Dubois, Yohan	4. 巻 491
2. 論文標題 Cosmological evolution of orientations of cluster-sized dark matter haloes and their central galaxies in the Horizon-AGN simulation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2268-2279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz3057	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ueda, Shutaro; Ichinohe, Yuto; Molnar, Sandor M.; Umetsu, Keiichi; Kitayama, Tetsu	4. 巻 892
2. 論文標題 Gas Density Perturbations in the Cool Cores of CLASH Galaxy Clusters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id.100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab7bdc	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kitayama, Tetsu; Ueda, Shutaro; Akahori, Takuya; Komatsu, Eiichiro; Kawabe, Ryohei; Kohno, Kotaro; Takakuwa, Shigehisa; Takizawa, Motokazu; Tsutsumi, Takahiro; Yoshikawa, Kohji	4. 巻 72
2. 論文標題 Deeply cooled core of the Phoenix galaxy cluster imaged by ALMA with the Sunyaev-Zel'dovich effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 id.33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ueda, Shutaro; Ichinohe, Yuto; Kitayama, Tetsu; Umetsu, Keiichi	4. 巻 871
2. 論文標題 Line-of-Sight Gas Sloshing in the Cool Core of Abell 907	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 207-207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aafa19	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tamura, Takayuki; Fabian, Andrew C.; Gandhi, Poshak; Gu, Liyi; Kamada, Ayuki; Kitayama, Tetsu; Loewenstein, Michael; Maeda, Yoshitomo; Matsushita, Kyoko; McCammon, Dan; Mitsuda, Kazuhisa; Nakashima, Shinya; Porter, Scott; Pinto, Ciro; Sato, Kosuke; Tombesi, Francesco; Yamasaki, Noriko Y.	4. 巻 71
2. 論文標題 An X-ray spectroscopic search for dark matter and unidentified line signatures in the Perseus cluster with Hitomi	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 id.50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 上田周太郎、北山哲、岡部信広	4. 巻 117
2. 論文標題 アルマ望遠鏡による5秒角スニヤエフ・ゼルドビッチ効果の銀河団観測	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 天文月報	6. 最初と最後の頁 92-101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 Tetsu Kitayama
2. 発表標題 High resolution measurements of the Sunyaev-Zel'dovich effect toward galaxy clusters
3. 学会等名 The 14th RESCEU symposium: "From Large to Small Structures in the Universe" (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 北山哲、上田周太郎、岡部信広、他
2. 発表標題 ALMAによる z-1 銀河団の高解像度SZ効果測定
3. 学会等名 日本天文学会2023年秋季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大木愛花, 沖野大貴, 赤堀卓也, 藏原昂平, 秦和弘, 本間 希樹, 永井洋, 新沼浩太郎, 北山哲, 上田周太郎, 石田学
2. 発表標題 VLBI 観測によるほうおう座銀河団中心の AGN 調査
3. 学会等名 日本天文学会2023年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森浩二, 武田彩希, 北山哲(14番目), 他 FORCE WG
2. 発表標題 軟 X 線から硬 X 線の広帯域を高感度で撮像分光する衛星計画 FORCE の現状 (15)
3. 学会等名 日本天文学会2023年春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森浩二, 武田彩希, 北山哲(15番目), 他 FORCE WG
2. 発表標題 軟 X 線から硬 X 線の広帯域を高感度で撮像分光する衛星計画 FORCE の現状 (14)
3. 学会等名 日本天文学会2022年秋季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上田周太郎, 梅津敬一, Ng, Fan Lam, 一戸悠人, Molnar, Sandor M., 北山哲
2. 発表標題 大小様々な銀河団の冷却コア内のガス揺らぎの系統解析
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 森浩二, 武田彩希, 北山哲(15番目), 他 FORCE WG
2. 発表標題 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する衛星計画 FORCE の現状(12)
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 柴田実桜, 太田直美, 北山哲, 小松英一郎, 赤堀卓也, 永吉賢一郎, 上田周太郎
2. 発表標題 NuSTAR 衛星による RX J1347.5-1145 銀河団の硬 X 線観測
3. 学会等名 日本天文学会2022年春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森浩二, 武田彩希, 北山哲(16番目), 他 FORCE WG
2. 発表標題 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する衛星計画 FORCE の現状(13)
3. 学会等名 日本天文学会2022年春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 赤堀卓也, 北山哲, 上田周太郎, 泉拓磨, 李建鋒, 川邊良平, 河野孝太郎, 大栗真宗, 滝沢元和
2. 発表標題 フェニックス銀河団の冷却コア(1) ATCAによるAGNジェットの初解像
3. 学会等名 日本天文学会2020年秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 北山哲、上田周太郎、赤堀卓也、小松英一郎、川邊良平、河野孝太郎、高桑繁久、滝沢元和、堤貴弘、吉川耕司
2. 発表標題 フェニックス銀河団の冷却コア(2) ALMAによるSZ効果の高解像度測定
3. 学会等名 日本天文学会2020年秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上田周太郎、一戸悠人、 Molnar, Sandor M.、梅津敬一、北山哲
2. 発表標題 大質量銀河団サンプル(CLASH)を用いた冷却コアの系統解析
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鶴剛、上田佳宏、北山哲(18番目)、他FORCE WG
2. 発表標題 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画FORCEの現状(9)
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森浩二、武田彩希、北山哲(13番目)、他FORCE WG
2. 発表標題 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画 FORCE の現状 (10)
3. 学会等名 日本天文学会2020年春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡部泰三、大栗真宗、須藤靖、西道啓博、北山哲、佐々木伸、Sebastien Peirani
2. 発表標題 銀河団における中心銀河とホストダークマターハローの角度相関の時間進化
3. 学会等名 日本天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中澤知洋、森浩二、北山哲(20番目)、他FORCE WG
2. 発表標題 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画FORCEの現状(7)
3. 学会等名 日本天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松本浩典、粟木久光、北山哲(19番目)、他FORCE WG
2. 発表標題 小型衛星計画FORCE用のX線反射鏡開発の現状
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 軟X線から硬X線の広帯域を高感度で撮像分光する小型衛星計画FORCEの現状(8)
2. 発表標題 森浩二、武田彩希、北山哲(14番目)、他FORCE WG
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 北山 哲	4. 発行年 2020年
2. 出版社 日本評論社	5. 総ページ数 256
3. 書名 銀河団	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	NASA/Goddard Space Flight Center	Rutgers University	National Radio Astronomy Observatory	他8機関
ドイツ	Max Planck Institute for Astrophysics	European Southern Observatory	University of Bonn	
フランス	Institut d'Astrophysique de Paris	Universite Coutelet d'Azur	Universite Paris-Saclay	
英国	University of Cambridge	University of Southampton	University of Bristol	
その他の国・地域	Academia Sinica Institute	National Tsing Hua University		
南アフリカ	University of KwaZulu-Natal	University of the Witwatersrand		
中国	北京大学			
韓国	Institute for Basic Science	Korea Institute for Advanced Stud		
チリ	Pontificia Universidad			
オランダ	Delft University of Technology	Netherlands Institute for Space Research	Leiden University	他1機関
イタリア	National Institute for Astrophysics	National Institute for Nuclear Physics		

共同研究相手国	相手方研究機関			
カナダ	McGill University			
スイス	University of Geneva			